

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК

Михайлова В.Ю.

ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», г. Санкт-Петербург,

e-mail: Victorm@crism.ru

В настоящее время основной проблемой в авиа- и двигателестроении является разрушение деталей при термической и малоцикловой усталости. Термической усталостью называется процесс появления усталостных трещин и формоизменения под действием циклических термических напряжений. Эти дополнительные напряжения, зачастую не учитываемые при конструировании, приводят к преждевременному разрушению деталей.

Целью работы являлось изучение поведения деталей при повышенных термических напряжениях, приводящих к термоусталостному разрушению, а также исследование влияния различных факторов на сопротивление термической усталости.

Для исследования были выбраны три сплава: поликристаллический сплав ЖС6К и монокристаллические ЖС32-ВИ и ЖС36-ВИ, сплав ЖС32-ВИ содержит углерод.

Таблица 1. Сводные данные по всем испытанным образцам.

Сплав	№ образца	Наличие концентратора	Термическая обработка	$T_{min},$ °C	$T_{max},$ °C	N (число циклов до разрушения)	$\varepsilon_1,$ %	$\varepsilon_2,$ %	$\Delta\varepsilon,$ %
ЖС6К	1	Есть	Стандартная	150	850	231	4,95	6,96	0,76
	2	Есть	Стандартная	150	700	6833	8,27	3,84	0,58
ЖС32-ВИ	1	Нет	Специальная	150	900	3654			0,82
	2	Нет	Стандартная	150	900	1414			0,95
ЖС36-ВИ	1	Нет	Стандартная	150	900	560	9,0	2,4	0,86
	2	Нет	Стандартная	150	1000	95	12	6,3	0,85

где $\varepsilon_1 = (b - b_0)100/b_0$; $\varepsilon_2 = (h - h_0)100/h_0$, Здесь ε_1 и ε_2 — необратимые деформации в зоне разрушения образцов, измеренные после их разрушения в направлениях, перпендикулярном и параллельном плоскости шлифа, b_0 и b - ширина рабочей части до и после испытаний, h_0 и h - высота рабочей части до и после испытаний соответственно.

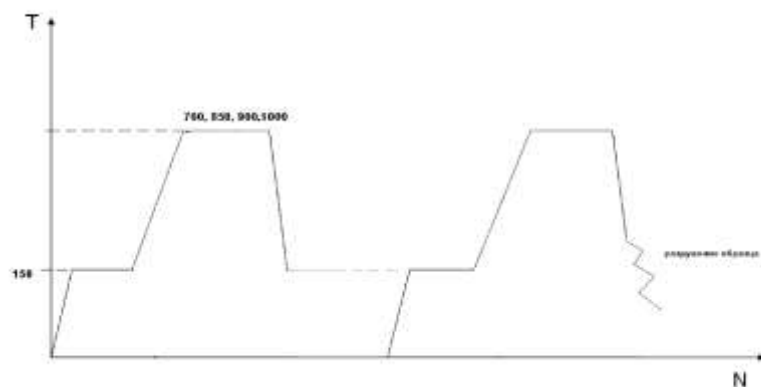


Рис. 1 Режимы проведения испытаний, T- температура, °C, N- число циклов до разрушения

1. Сплав ЖС6К. Эксплуатация лопаток из сплава ЖС6К практически не повлияла на его термоусталостную долговечность при $T_{\max}=850^{\circ}\text{C}$, несмотря на наличие концентратора в центре образца.

2. Сплав ЖС36-ВИ. Разрушение образцов из сплава ЖС36-ВИ № 1 и № 2 произошло под углом 45° к плоскости образца. Кристаллографическая зона усталостного излома имеет гладкий скольный вид и занимает практически 60 % поверхности. С повышением уровня напряжений образуются микродолы.

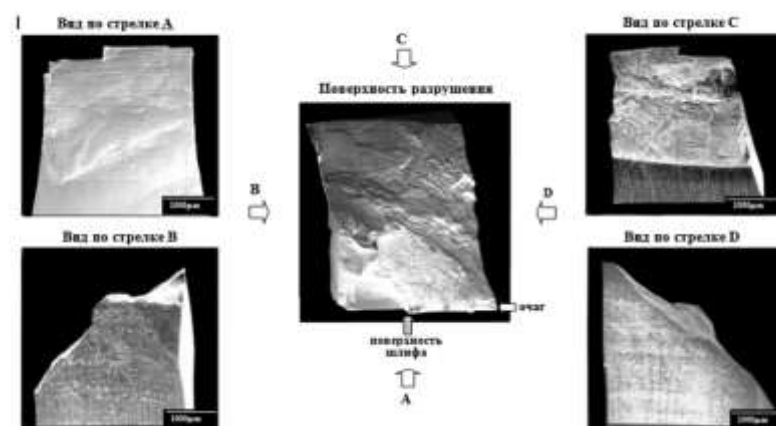


Рис. 2. Фрактографическое исследование образца № 1

3. Сплав ЖС32-ВИ. Испытаны два образца с разными параметрами упрочняющей γ^1 - фазы в осях и межосных пространствах после различных режимов термической обработки. Для сплава ЖС32-ВИ температуры испытания 900°C соответствуют начальным процессам коагуляции γ^1 - фазы, поэтому значительных микроструктурных изменений в процессе испытания не обнаружено. У образца № 1 отмечается значительное изменение формы частиц (рис. 4). Разрушение образца № 2 произошло частично по механизму термоусталости с отрывом под углом 90° с поверхности. Образец № 1 разрушился под углом 45° с без выраженного «рэтчеттинга».

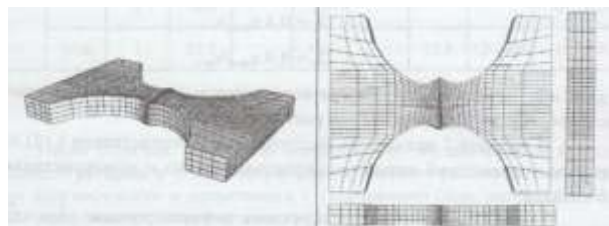


Рис.3. Изменение формы образцов монокристаллов («рэтчеттинг») из сплава ЖС32-ВИ после проведения термоусталостных испытаний.

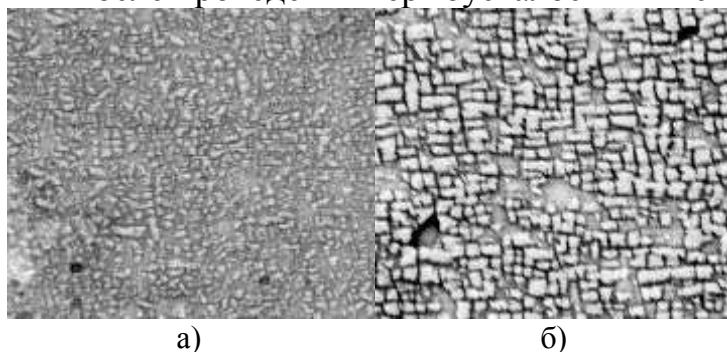


Рис. 4. Микроструктура в горячей части а) образец № 1, б) образец № 2
Общие выводы:

- Сравнение исследуемых монокристаллических сплавов показало преимущество ЖС32-ВИ при испытаниях в интервале температур 150-900⁰С в 1,5 раза, что объясняется, по-видимому, природой двойного упрочнения углеродосодержащего сплава ЖС32-ВИ (интерметаллидного упрочнения и карбидного).
- Сопротивление термической усталости может существенно зависеть от исходной структуры: у образца № 1 сплава ЖС32-ВИ со специальной термической обработкой число циклов до разрушения практически в 2,5 раза больше, чем у образца № 2, что связано с меньшим размером упрочняющей фазы в термообработанном состоянии.
- Сопротивление термической усталости существенно зависит от режимов термоусталостных испытаний. Так, при повышении температуры испытаний снижается число циклов до разрушения у поликристаллических сплавов, у образца № 1 сплава ЖС6К, испытанного по режиму «150-850⁰С», число циклов до разрушения в сотни раз меньше, чем у образца № 2, что связано, видимо, с тем, что верхний предел рабочих температур для сплава ЖС6К составляет 750⁰С. То же самое явление наблюдалось и для сплава ЖС36- ВИ, рабочие температуры которого не должны превышать 950⁰С.
- По предварительным результатам термоусталостных испытаний монокристаллических сплавов следует, что необходимо создавать базы данных по фактическим испытаниям с целью применения результатов при расчетах на прочность и для прогноза ресурса лопаток из монокристаллических сплавов.